

青海东昆仑璵木浑金矿蚀变绢云母 Ar-Ar 年龄、石英闪长岩锆石 U-Pb 年龄和岩石地球化学特征

李金超^{1,2)}, 孔会磊²⁾, 栗亚芝²⁾, 南卡俄吾³⁾, 贾群子²⁾, 国显正²⁾, 张斌²⁾

1) 长安大学地球科学与资源学院, 西安, 710054;

2) 中国地质调查局西安地质调查中心, 国土资源部岩浆作用成矿与找矿重点实验室, 西安, 710054;

3) 陕西土地建设工程集团, 西安, 710075

内容提要:东昆仑地区金矿资源丰富,是我国著名的“金腰带”,璵木浑金矿位于该区昆北加里东弧后裂陷成矿带。地球化学研究表明,与金矿体空间关系密切的石英闪长岩为高钾钙碱性系列,具有安第斯型活动大陆边缘火成岩的构造属性。获得绢云母⁴⁰Ar-³⁹Ar 坪年龄为 227.84±1.13Ma;获得石英闪长岩锆石 U-Pb 年龄为 235.8±0.8Ma,形成于三叠纪中期,与阿尼玛卿洋向北俯冲作用有关。研究认为石英闪长岩对璵木浑金矿形成具有重要意义,印支期是东昆仑地区金矿主成矿期。

关键词:东昆仑地区;璵木浑金矿;⁴⁰Ar-³⁹Ar 年龄;锆石 U-Pb 年龄;印支期

东昆仑位于中央造山带中西部(Guo Zhengfu et al., 1998; Mo Xuanxue et al., 2007; Guo Xianzheng et al., 2016a; Liu Zhiwei et al., 2016),该地区金矿资源较为丰富(图 1),是我国著名的“金腰带”(Liu Jiannan et al., 2016)。近年来,该区金矿找矿工作取得重大突破;五龙沟金矿床、沟里金矿床、大场金矿床等老矿区外围或者深部找矿取得新突破、新进展,大水沟金矿床、白日其利金矿床等新矿区取得新发现。众多学者针对该区与金矿成矿有关的中酸性岩体开展地球化学及锆石 U-Pb 定年(Li Bile et al., 2012a; Yue Weihao, 2013; Li Jinchao et al., 2014, 2015a; Namkha Norbu et al., 2014a)、成矿物质来源(Hu Rongguo et al., 2010; Li Bile et al., 2012b; Ding Qingfeng et al., 2010, 2013a, 2013b; Feng Chengyou et al., 2004, 2013)及金矿床的成矿年代学(Yuan Wanming et al., 2000; Feng Chengyou, 2002; Zhang Dequan et al., 2005; Xiao Ye et al., 2014)等科学研究,取得了丰硕的成果。璵木浑金矿是 2009 年山东鲁南地质工程勘察院在该地区开展 1:5 万地质矿产调查时发现^①,目前矿权由青海省金星矿业有限公司持有。但是针对璵木浑金矿少见有科学研究报道(Zhang

wei et al., 2014)。本文针对璵木浑金矿矿石中蚀变绢云母开展⁴⁰Ar-³⁹Ar 测年分析、与成矿有关系的石英闪长岩开展锆石 U-Pb 定年以及岩石地球化学特征研究,以期东昆仑地区金矿开展科学研究提供依据。

1 区域地质背景

东昆仑造山带是一个具有复杂演化历史的多旋回造山带,区内与构造-岩浆活动有关的多金属等热液矿床发育(Liu Jiannan et al., 2016)。该区构造单元划分不一,为了体现矿床的成因联系和后期叠加改造等特征,本文采用孙丰月等(2002)^②以昆北断裂、昆中断裂、昆南断裂、阿尼玛卿南缘断裂四条断裂为界,将东昆仑造山带由北向南依次划为昆北加里东弧后裂陷带、昆中基底隆起花岗岩带、昆南复合拼贴带、阿尼玛卿蛇绿混杂岩带和北巴颜喀拉造山带。

东昆仑地区各不同构造单元出露不尽相同(Feng Chengyou, 2002),从元古宇至第四系,除震旦系、寒武系、志留系外,均有出露,时代跨度范围大;其中以中元古界、石炭系、二叠系出露相对广泛。区内金水口岩群、万保沟群、小庙组、祁漫塔格群、纳

注:本文为中国地质调查局项目(编号 DD20160013、12120115022101、1212010918044、12120113029000)资助的成果。

收稿日期:2017-02-20;改回日期:2017-03-09;责任编辑:周健。

作者简介:李金超,男,1976 年生。高级工程师,在读博士研究生,主要从事区域成矿及成矿规律等方面的研究工作。Email: lijinchao0313@163.com。通讯作者:贾群子,男,1962 年生。研究员,从事矿床学及成矿规律研究。Email: xajqunzi@126.com。

赤台群、洪水川组、八宝山组和巴颜喀拉山群等地层是区内金多金属重要赋矿地层。例如石灰沟和打柴沟金矿床赋存于金水口岩群,中支沟矿床赋存于小庙组,驼路沟金矿床、万保沟金矿床、纳赤台金矿床均产于万保沟群,肯德可克伴生金矿床赋存于祁漫塔格群,大场金矿床、东大滩锑金矿赋矿围岩为三叠世巴颜喀拉山群等。

东昆仑地区构造发育,密集分布。由北向南发育昆北断裂、昆中断裂、昆南断裂、布青山南缘断裂、昆仑山口—甘德断裂,以及东部鄂拉山一带的哇洪山—温泉断裂。主断裂控制着构造和地层区划,同时对岩带和矿带的展布也起着重要的控制作用,主断裂旁侧的次级断裂控制着矿体的产出。它们多具有长期发育历史,既有继承的复活性,又有改造的创新性(Du Yuliang et al., 2014)。

东昆仑地区岩浆活动强烈而且频繁,形成的构造环境复杂多样,持续时间长,岩石类型齐全(Namkha Norbu et al., 2014b)。岩浆活动的强弱程度和形成的规模而言,晋宁末期、早古生代奥陶纪—志留纪、晚古生代、中生代及新生代古近纪和新近纪,为岩浆活动的高峰期(Namkha Norbu et al., 2014b)。岩石类型从超基性—基性、中性—酸性,以及碱性都有发育,均定位于不同期次的构造岩浆旋回环境中,尤以中酸性分布广、规模大,与金矿形成具有密切的关系。

2 矿床地质特征

瑙木浑金矿大地构造位置上处于东昆仑造山带东段,昆中断裂的北侧,属于东昆北加里东弧后裂陷成矿带。

矿区内出露地层由老到新主要为长城纪小庙组上段、晚三叠世鄂拉山组和第四纪地层(图2)。小庙组上段分布面积较小,岩性主要为灰色黑云斜长片麻岩、黑云石英片岩、透闪石大理岩等,厚度约550~570 m。鄂拉山组出露面积极少,主要岩性以灰绿色安山岩为主,显示一套中基性火山岩的岩性组合特征。

矿区断裂构造发育,主要为北西向、北西西向及北东向三组断裂,与区域构造方向基本一致,其中F4、F6以及F8是区内的主要控矿构造(图2)。F4断裂发育于矿区西部,走向295°~321°,倾向南西,倾角65°~80°;区内I-1、I-2号矿体位于该断裂带北西端。F6发育于矿区东部,走向310°~320°,倾向北东,倾角60°~70°;区内II-1、II-2号矿体位于该断裂带北西端。F8断裂发育于矿区东部,走向65°~70°,倾向南东,倾角65°~70°;区内II-4号矿体位于该断裂带内。

区内多期次的岩浆侵入活动,从而形成了不同岩石类型及规模大小不等的各类侵入岩,其岩石类型复杂多变。尤以印支期侵入岩规模最大,为区内

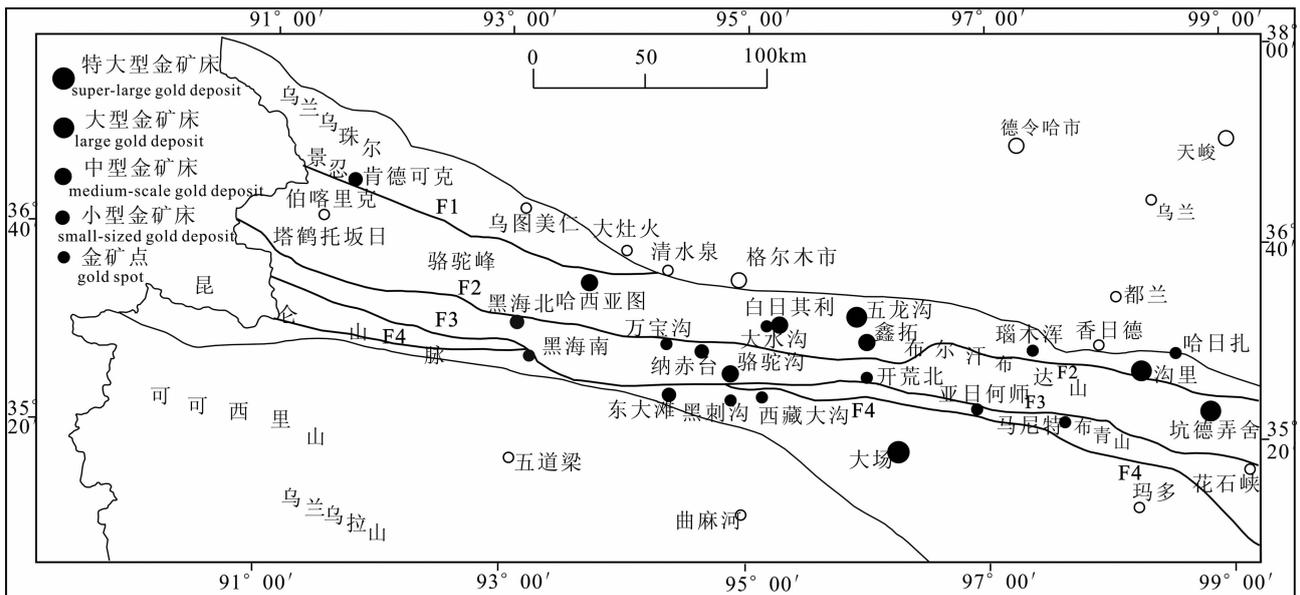


图1 东昆仑地区金矿床分布图

Fig. 1 The gold deposits distribution of the eastern Kunlun area

F1—昆北断裂; F2—昆中断裂; F3—昆南断裂; F4—阿尼玛卿南缘断裂

F1—Northern Kunlun fault; F2—Central Kunlun fault; F3—Southern Kunlun fault; F4—Southern A'nyemaqen fault

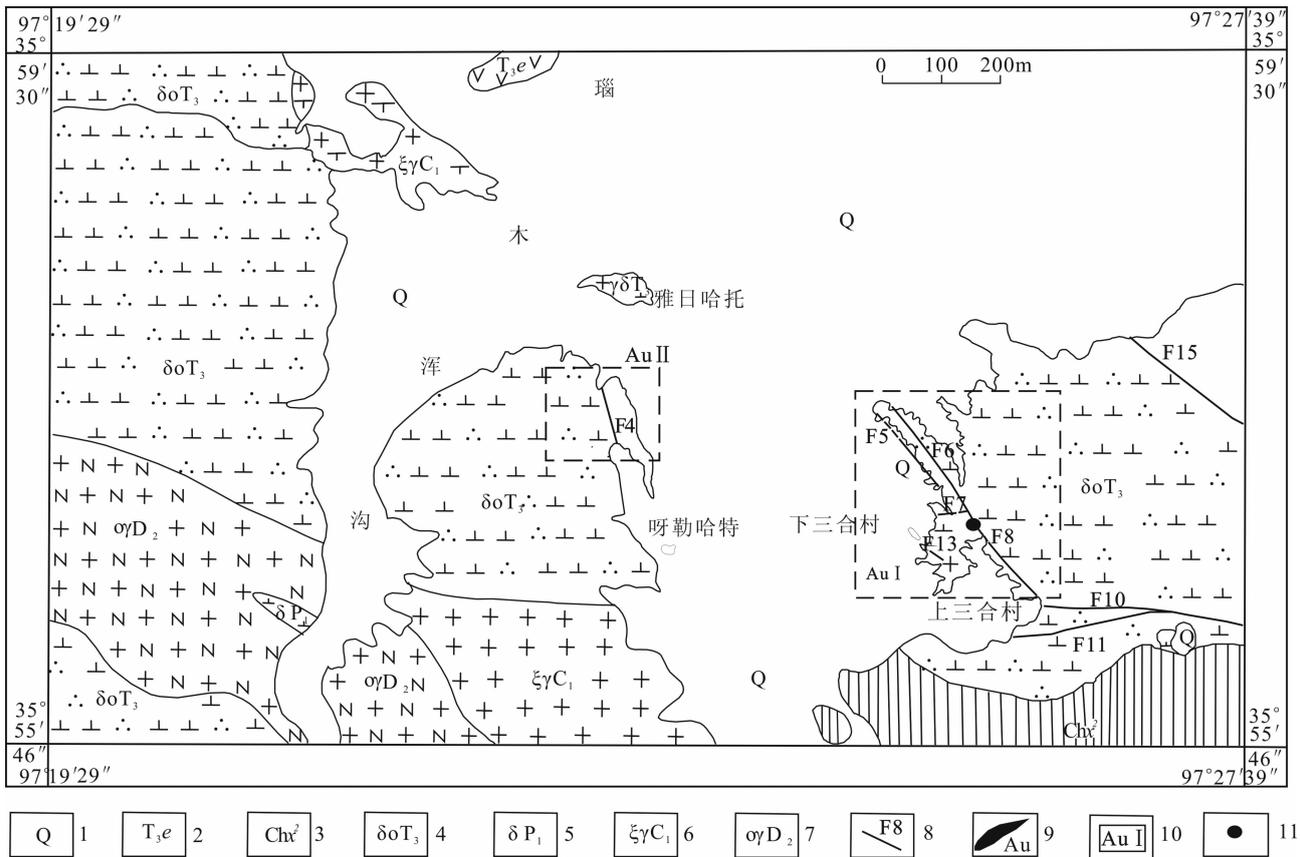


图 2 瑙木浑金矿地质略图(据青海省金星矿业有限公司,2015[●],修改)

Fig. 2 Geological sketch map of Naomuhun gold deposits (after Qinghai Gold-Star Mine Industry Co. Ltd, 2010[●])

1—第四系;2—三叠纪鄂拉山组安山岩;3—长城纪小庙组上段:黑云石英片岩;4—晚三叠世石英闪长岩;5—早二叠世闪长岩;
6—早石炭世正长花岗岩;7—中泥盆世石英闪长岩;8—断层及编号;9—金矿体;10—金矿带位置及编号;11—采样位置

1—Quaternary;2—andesite of Upper Triassic; 3—Xiaomiao Formation: biotite quartz schist;4—Triassic quartz diorite;5—Early Permian diorite;6—Early Carboniferous granite;7—Devonian quartz diorites;8—fault and number; 9—gold orebody;10—position and number of gold ore belt;11—sampling location

岩浆活动的最高潮(Zhang Wei et al., 2014)(图 2)。矿区内发现的 9 条金矿体均赋存于晚三叠世石英闪长岩体的后期构造破碎蚀变带内(图 2),据野外地质观察认为:瑙木浑金矿石英闪长岩与金矿化存在密切的时空及成因联系,岩体(或同源岩浆)为成矿提供了热动力,可能也提供了部分成矿矿质。

除 II-4 以外的 8 条矿体均分布于北西向破碎带内,走向与破碎带延伸方向一致,金矿体近平行展布,雁行排列。I-1 号金矿体赋存于 I 号矿化带北西端,受 F3 断层控制,矿体长约 40m,厚 0.91m,金含量 1.98 g/t。II-1 号金矿体赋存于 II 号矿化带北西端,受 F6 断层控制,为地表矿体,呈透镜状;II-2 号金矿体分布于 II-1 矿体南东侧,也受 F6 断层控制。

3 样品采集及测试方法

3.1 样品采集及样品特征

前人认为矿区出露的岩体主要为三叠纪花岗闪

长岩(Zhang wei et al., 2014),本次通过野外调查、薄片鉴定、锆石测年,综合研究认为该岩体为三叠纪石英闪长岩。石英闪长岩为灰白色,中—粗粒半自形粒状结构,岩石主要由斜长石、石英、角闪石、黑云母等矿物组成,副矿物为磷灰石、磁铁矿、榍石等,个别样品中见有钛铁矿。斜长石:体积分数为 60%~66%,晶体形态呈半自形板状,晶体粒径大小在 2~6 mm 之间,双晶普遍发育,少数见环带结构,斜长石种属为中长石,晶体有轻度绢云母化;石英:体积分数为 8%~12%,晶体呈不规则粒状,粒径大小在 1~2.5 mm 之间,多呈填隙状产出;角闪石:体积分数为 10%~12%,种属为普通角闪石,呈柱状或粒状,粒径大小在 1.2~5 mm 之间;黑云母:体积分数为 8%~10%,晶体呈片状,粒径大小一般为 1~3 mm 之间。黑云母、角闪石、金属矿物多呈小团块状聚集体形式出现。

本次在 Au II 矿带探槽中采取绢英岩化糜棱岩型金矿石(含金 16 g/t),开展蚀变绢云母⁴⁰Ar-³⁹Ar 定年研究。在该金矿石两侧采集石英闪长岩开展锆石 U-Pb 定年研究,采取的 5 件地球化学和 1 件年龄样均为新鲜样品。

3.2 测试方法

(1)Ar-Ar 测年:⁴⁰Ar-³⁹Ar 同位素定年工作在北京地质研究院实验测试研究中心完成。首先称取合适的单矿物样品通过超声波进行清洗,将单个样品铝箔包装后利用石英管融封,外面包裹厚 1mm 的锡皮,送至中国原子能科学研究院接受快中子反应堆的照射,照射时间 24h。照射后的样品在超高真空析氩系统双真空炉中进行阶段升温融样,

用含有锆铝泵的 NGP REP SYSTEM 型纯化系统纯化各阶段释放的气体。用于中子通量监测的标准样品为:GBW04418 角闪石和 ZBH-25 黑云母。通过利用 Helix SFT 型惰性气体质谱仪静态测定氩同位素的比值。使用 ArArCALC ver2.4 软件对阶段升温各温度段获得的年龄及累计³⁹Ar 百分比含量,绘制年龄谱图,并利用加权法计算出坪年龄,用直线拟合法计算出⁴⁰Ar/³⁹Ar 的初始比值以及正、反等时线年龄(Yan Shenghao et al., 2002; Shen Ping et al., 2005; Gao Yongwei et al., 2015; Meng Yuanku et al., 2016)。坪年龄误差以 1 σ 给出。实验数据见表 1。

表 1 瑙木浑金矿成矿阶段绢云母⁴⁰Ar-³⁹Ar 测试数据及表面年龄

Table 1 ⁴⁰Ar-³⁹Ar data and apparent ages of sericite samples from the Naomuhun gold deposit

温度(C)	(⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar) _m	(³⁶ Ar/ ³⁹ Ar) _m	(³⁷ Ar/ ³⁹ Ar) _m	⁴⁰ Ar(%)	⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar	³⁹ Ar($\times 10^{-14}$ mol)	³⁹ Ar(Cum.)(%)	年龄(Ma)	$\pm 1\sigma$ (Ma)
600	99.9036	0.0292	0.0054	91.35	91.2606	1.16	4.24	227.02	1.16
700	94.8659	0.0092	0.0048	97.12	92.1336	3.83	13.99	229.06	1.16
750	94.4902	0.0081	0.0038	97.47	92.1045	2.00	7.32	228.99	1.16
800	94.1773	0.0094	0.0032	97.06	91.4108	2.90	10.61	227.37	1.14
850	96.0573	0.0143	0.0030	95.60	91.8315	2.90	10.61	228.35	1.11
900	98.2458	0.0235	0.0028	92.92	91.2871	2.47	9.02	227.08	1.15
950	100.4460	0.0308	0.0028	90.95	91.3555	2.26	8.27	227.24	1.16
1000	102.0614	0.0358	0.0036	89.63	91.4781	1.59	5.83	227.53	1.21
1100	103.4984	0.0411	0.0030	88.25	91.3421	7.09	25.93	227.21	1.23
1200	99.6095	0.0256	0.0047	92.41	92.0448	1.04	3.80	228.85	1.15
1300	104.2612	0.0439	0.0322	87.57	91.3042	0.10	0.38	227.12	1.61

注:重量 W=20.4 mg,辐照参数 J=0.001455,表中下标 m 代表样品中测定的同位素比值。

(2)锆石 U-Pb 定年:锆石的挑选工作在河北省廊坊区域地质调查所实验室完成。首先用水将样品表面清洗后晾干,粉碎至 80 目,然后经过粗淘、强磁分选、电磁分选和用酒精细淘等过程,在实体显微镜下手工挑选出锆石。锆石的制靶、反射光和阴极发光都是在西北大学大陆动力学国家重点实验室进行。锆石的制靶在实体显微镜下挑选裂隙相对少、表面尽量洁净、透明度相对较高的锆石约 100 粒制作环氧树脂样品靶,并对其打磨和抛光。锆石 U-Pb 测年工作在天津地质地质调查中心同位素实验室利用激光烧蚀多接收器等离子体质谱法(LA-MC-ICPMS)完成。

(3)岩石地球化学:主量元素、稀土元素、微量元素分析在西安地质调查中心测试中心完成,其中主量元素采用 X 荧光光谱(XRF)进行分析,分析精度优于 1%;稀土和微量元素利用 SX50 型电感耦合等离子体质谱仪(ICP-MS)进行测定,分析精度优于 5%~10%。

4 测试结果

4.1 绢云母 Ar-Ar 年代学

本次针对瑙木浑金矿探槽中强烈绢英岩化糜棱岩型金矿石(含金 16 g/t)测得绢云母⁴⁰Ar-³⁹Ar 坪年龄为 227.84 \pm 1.13Ma(图 3),⁴⁰Ar/³⁶Ar-³⁹Ar/³⁶Ar 等时线年龄为 228.86 \pm 1.34 Ma(图 3),⁴⁰Ar/³⁶Ar-³⁹Ar/³⁶Ar 反等时线年龄为 228.83 \pm 1.34 Ma,综上所述瑙木浑金矿坪年龄与等时年龄基本一致,误差不超过 1.1Ma,因此说明瑙木浑金矿坪年龄数据可靠,该年龄代表矿床形成的时代。

4.2 锆石 U-Pb 年代学

样品 13NMU-Pb(石英闪长岩)中锆石多为长柱状,长 120~290 μ m,长宽比一般为 2:1~3:1。多数锆石自形程度较好,发育岩浆震荡环带,部分锆石呈断头晶出现,有清晰的韵律环带结构,不发育震荡环带,具岩浆结晶锆石特征(图 4)。35 个有效分析点测试结果(表 2)显示其 Th/U 比值为 0.38~

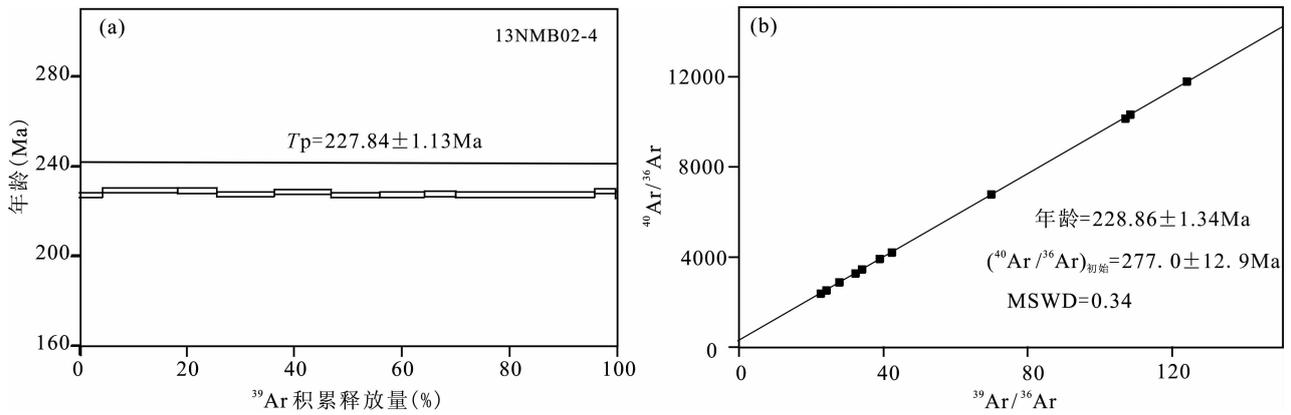


图 3 瑙木浑金矿绢云母⁴⁰Ar-³⁹Ar 阶段升温年龄谱图(a)及等时线图(b)

Fig. 3 ⁴⁰Ar-³⁹Ar age spectrum (a) and isochron (b) of sericite in the Naomuhun gold deposit

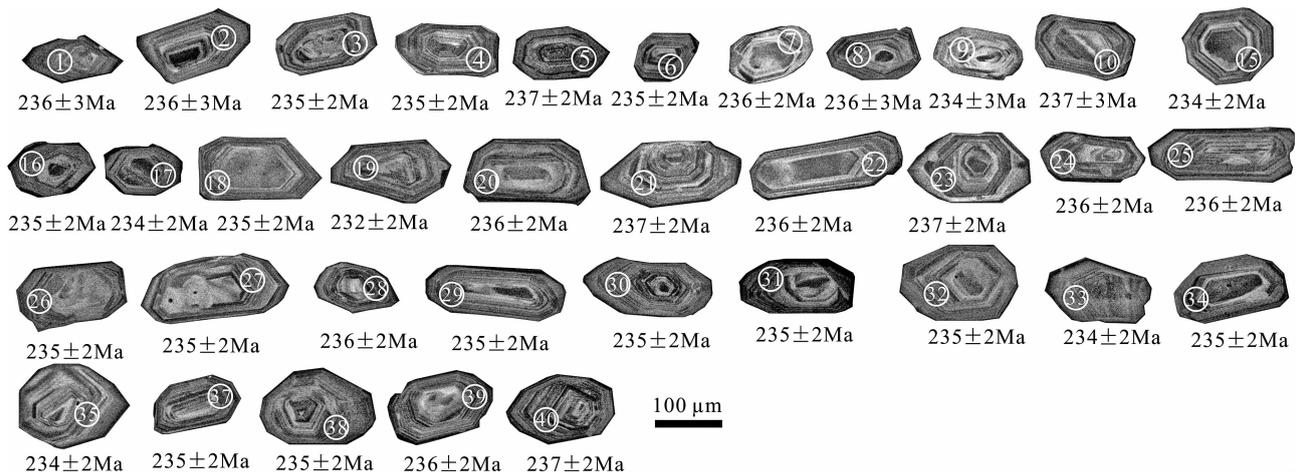


图 4 瑙木浑金矿石英闪长岩锆石阴极发光照片(圈内数字代表 U-Pb 分析点,其他数字代表²⁰⁶Pb/²³⁸U 表面年龄)

Fig. 4 CL images of zircons from Naomuhun quartz diorite

(numbers in the circles represent analytical spots of U-Pb, and the values represent ages of ²⁰⁶Pb/²³⁸U)

1.11, 平均值为 0.69, 该样品所测定的锆石具岩浆成因性质。35 个锆石点数据集中, 均落在谐和线及其附近(图 5), 36 个²⁰⁶Pb/²³⁸U 分析数据的加权平均年龄为 235.8 ± 0.8Ma, MSWD=0.19; 谐和年龄值为 235.8 ± 0.8Ma, MSWD=0.19; 二者恰好一致。其代表岩浆结晶年龄, 表明其大约侵位于 235.8 ± 0.8Ma。

4.3 岩石地球化学

矿区石英闪长岩化学成分见表 3, 样品中 SiO₂ 为 61.08%~63.76%, 平均为 62.38%, 反映了岩浆分异过程中的一致性, 属中酸性岩浆岩范围; Al₂O₃ 为 15.86%~16.98%, 平均为 16.57%; Na₂O + K₂O 为 5.44%~6.16%, 平均为 5.69%, K₂O/Na₂O 为 0.56~1.00, 平均为 0.71, 属于钠质系列岩石; A/CNK 值为 0.95~0.99, 均为 0.97; 在 A/NK-A/CNK 图(图 6a)上, 主要落在准铝质区; δ 值为

0.67~0.78, 碱度率(AR)为 1.66~1.88, 分异指数(DI)为 58.33~64.11。在 SiO₂-K₂O 图(图 6b)上, 岩石主要落在钙碱性—高钾钙碱性系列区。

原始地幔标准化微量元素蜘蛛图(图 7a)显示, 石英闪长岩各样品配分模式近一致。相对于原始地幔, 岩体明显富集大离子亲石元素(Rb、K)、活泼的不相容元素(如 Th)、轻稀土元素和 Pb, 尤其是 Pb, 达到原始地幔的 100~1000 倍, 相对亏损高场强元素(如 Nb、Ta、P、Ti), Ba、Nb、Sr 的亏损较明显, 显示出岩浆与俯冲环境有关。

稀土总量为 109.90 × 10⁻⁶~136.94 × 10⁻⁶, 平均为 120.22 × 10⁻⁶。在稀土元素球粒陨石标准化配分模式图(图 7b)上, 各样品配分曲线几近一致, 显示为同源岩浆演化特点, 轻重稀土的比值(LREE/HREE)=7.42~9.12, 平均为 7.98, 二者明显分异, (La/Yb)_N 为 7.14~9.35, 显示了轻稀土

表2 瑙木浑石英闪长岩锆石 LA-MC-ICPMS 测年结果

Table 2 LA-MC-ICP-MS isotopic data of zircon from Naomuhun quartz diorite

样品编号	含量(10×10^{-6})		Th/U	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	
	^{232}Th	^{238}U		比值	1σ	比值	1σ	比值	1σ	年龄 (Ma)	1σ	年龄 (Ma)	1σ	年龄 (Ma)	1σ
13NMH-1	51.6	106.0	0.49	0.05095	0.00393	0.26216	0.02081	0.03732	0.00047	238.4	178.1	236.4	18.8	236.2	3.0
13NMH-2	44.2	108.4	0.41	0.05116	0.00352	0.26272	0.01850	0.03724	0.00049	248.1	158.5	236.9	16.7	235.7	3.1
13NMH-3	135.5	274.0	0.49	0.05087	0.00103	0.26036	0.00555	0.03712	0.00035	235.1	46.9	235.0	5.0	234.9	2.2
13NMH-4	370.2	449.2	0.82	0.05121	0.00082	0.26192	0.00452	0.03710	0.00035	250.2	36.7	236.2	4.1	234.8	2.2
13NMH-5	89.9	213.7	0.42	0.05103	0.00133	0.26386	0.00714	0.03750	0.00036	242.4	60.1	237.8	6.4	237.3	2.3
13NMH-6	68.7	179.5	0.38	0.05100	0.00168	0.26155	0.00876	0.03720	0.00036	240.8	75.8	235.9	7.9	235.4	2.3
13NMH-7	128.2	247.0	0.52	0.05121	0.00130	0.26312	0.00693	0.03726	0.00035	250.5	58.4	237.2	6.2	235.8	2.2
13NMH-8	50.4	90.1	0.56	0.05111	0.00586	0.26263	0.03038	0.03727	0.00044	245.6	264.3	236.8	27.4	235.9	2.8
13NMH-9	27.6	60.9	0.45	0.05236	0.00592	0.26650	0.03027	0.03691	0.00050	301.4	257.8	239.9	27.3	233.7	3.2
13NMH-10	80.3	108.6	0.74	0.05142	0.00366	0.26515	0.01922	0.03740	0.00040	259.8	163.6	238.8	17.3	236.7	2.5
13NMH-11	94.3	169.0	0.56	0.05114	0.00178	0.23949	0.00851	0.03396	0.00036	247.2	80.2	218.0	7.7	215.3	2.3
13NMH-12	113.2	232.5	0.49	0.05132	0.00137	0.24098	0.00658	0.03406	0.00033	255.3	61.5	219.2	6.0	215.9	2.1
13NMH-13	142.2	220.1	0.65	0.05129	0.00248	0.23935	0.01172	0.03385	0.00034	253.9	111.1	217.9	10.7	214.6	2.1
13NMH-14	175.8	310.4	0.57	0.05111	0.00159	0.23981	0.00768	0.03403	0.00033	246.0	71.7	218.3	7.0	215.7	2.1
13NMH-15	55.7	121.7	0.46	0.05113	0.00413	0.26020	0.02114	0.03691	0.00039	246.7	186.1	234.8	19.1	233.6	2.5
13NMH-16	295.7	470.8	0.63	0.05096	0.00135	0.26075	0.00713	0.03711	0.00035	239.1	61.0	235.3	6.4	234.9	2.2
13NMH-17	658.5	672.9	0.98	0.05102	0.00240	0.25989	0.01277	0.03694	0.00036	241.8	108.5	234.6	11.5	233.9	2.3
13NMH-18	256.4	323.3	0.79	0.05160	0.00122	0.26423	0.00656	0.03714	0.00035	267.8	54.5	238.1	5.9	235.1	2.2
13NMH-19	334.4	430.3	0.78	0.05117	0.00226	0.25867	0.01120	0.03666	0.00037	248.6	101.7	233.6	10.1	232.1	2.4
13NMH-20	322.1	446.8	0.72	0.05136	0.00077	0.26400	0.00446	0.03728	0.00037	256.8	34.5	237.9	4.0	236.0	2.3
13NMH-21	222.4	337.9	0.66	0.05164	0.00106	0.26650	0.00576	0.03743	0.00037	269.5	47.1	239.9	5.2	236.9	2.4
13NMH-22	250.3	375.0	0.67	0.05103	0.00086	0.26206	0.00485	0.03725	0.00036	242.0	38.7	236.3	4.4	235.8	2.3
13NMH-23	110.0	153.2	0.72	0.05151	0.00171	0.26542	0.00907	0.03737	0.00037	263.8	76.4	239.0	8.2	236.5	2.3
13NMH-24	242.2	297.4	0.81	0.05111	0.00108	0.26252	0.00578	0.03725	0.00036	245.9	48.5	236.7	5.2	235.8	2.3
13NMH-25	217.1	320.2	0.68	0.05106	0.00113	0.26299	0.00625	0.03735	0.00038	243.7	51.1	237.1	5.6	236.4	2.4
13NMH-26	183.2	305.1	0.60	0.05189	0.00108	0.26571	0.00564	0.03714	0.00036	280.7	47.6	239.3	5.1	235.1	2.3
13NMH-27	228.7	344.5	0.66	0.05142	0.00138	0.26329	0.00731	0.03713	0.00036	259.9	61.6	237.3	6.6	235.0	2.3
13NMH-28	262.0	291.7	0.90	0.05135	0.00119	0.26350	0.00632	0.03722	0.00036	256.5	53.3	237.5	5.7	235.6	2.3
13NMH-29	293.4	379.1	0.77	0.05171	0.00127	0.26495	0.00656	0.03716	0.00036	272.4	56.2	238.6	5.9	235.2	2.3
13NMH-30	334.1	403.5	0.83	0.05164	0.00103	0.26471	0.00564	0.03718	0.00035	269.5	45.9	238.5	5.1	235.3	2.2
13NMH-31	203.1	230.8	0.88	0.05139	0.00162	0.26353	0.00855	0.03719	0.00037	258.2	72.3	237.5	7.7	235.4	2.3
13NMH-32	372.9	464.9	0.80	0.05158	0.00105	0.26461	0.00592	0.03721	0.00037	266.9	46.8	238.4	5.3	235.5	2.4
13NMH-33	310.4	360.7	0.86	0.05121	0.00157	0.26134	0.00864	0.03701	0.00038	250.2	70.7	235.7	7.8	234.3	2.4
13NMH-34	421.4	378.7	1.11	0.05118	0.00103	0.26180	0.00556	0.03710	0.00036	249.1	46.2	236.1	5.0	234.8	2.3
13NMH-35	383.6	415.1	0.92	0.05116	0.00306	0.26054	0.01558	0.03694	0.00038	247.9	137.7	235.1	14.1	233.8	2.4
13NMH-36	260.8	354.3	0.74	0.05129	0.00058	0.24175	0.00377	0.03419	0.00047	253.8	26.0	219.9	3.4	216.7	3.0
13NMH-37	287.7	352.8	0.82	0.05107	0.00108	0.26169	0.00565	0.03717	0.00036	243.8	48.7	236.0	5.1	235.2	2.3
13NMH-38	369.7	548.0	0.67	0.05144	0.00085	0.26331	0.00474	0.03713	0.00035	260.4	38.2	237.3	4.3	235.0	2.2
13NMH-39	249.5	406.4	0.61	0.05185	0.00081	0.26610	0.00450	0.03722	0.00036	278.8	35.6	239.6	4.1	235.6	2.3
13NMH-40	413.9	437.9	0.95	0.05127	0.00087	0.26419	0.00475	0.03737	0.00036	253.2	39.2	238.0	4.3	236.5	2.3

明显强烈富集的右倾式稀土配分模式, $(\text{La}/\text{Sm})_{\text{N}}$ 为 3.04 ~ 3.79, 平均为 3.23, $(\text{Gd}/\text{Yb})_{\text{N}}$ 为 1.53 ~ 1.75, 平均为 1.60, 说明轻稀土分馏较强而重稀土之间分异不明显; δEu 为 0.67 ~ 0.78, 具有弱的负铕异常, 表明该区石英闪长岩岩体经历了一定的斜长石分离结晶作用, 或者说源区有一定的斜长石残留(Li Bile et al., 2012b)。 δCe 变化范围小, 集中在 0.97 ~ 0.99 之间, 可能反映了岩浆演化过程中氧化还原条件较为稳定。

5 石英闪长岩成因及其成岩成矿构造背景

5.1 岩石成因

瑙木浑金矿石英闪长岩的主量元素 CaO 、 MgO 、 P_2O_5 和 TiO_2 与 SiO_2 呈负相关, 而 K_2O 和 Na_2O 与 SiO_2 呈正相关, 岩浆具有一致的演化趋势, 表明他们为同源岩浆演化的产物。岩体明显富集大离子亲石元素(Rb、K)、活泼的不相容元素 Th、轻稀

表 3 瑙木浑石英闪长岩主量元素(%)、微量和稀土元素($\times 10^{-6}$)含量及特征比值
Table 3 Contents of major elements (%) and trace elements ($\times 10^{-6}$) of Naomuhun quartz diorite

编号	13NMB01	13NMH01	13NMH02	13NMH03	13NMH04	编号	13NMB01	13NMH01	13NMH02	13NMH03	13NMH04
SiO ₂	63.76	62.50	61.92	62.62	61.08	Zr	172	141	168	191	150
TiO ₂	0.69	0.69	0.66	0.70	0.73	La	20.9	24.6	20.0	27.5	20.2
Al ₂ O ₃	15.86	16.53	16.76	16.73	16.98	Ce	44.5	54.3	43.3	57.2	44.8
Fe ₂ O ₃	1.76	1.81	1.74	1.79	2.10	Pr	5.76	6.89	5.66	6.89	5.74
FeO	3.30	3.25	3.28	3.40	3.46	Nd	21.0	26.5	22.2	26.0	22.4
MnO	0.08	0.09	0.08	0.09	0.10	Sm	4.23	5.18	4.25	4.68	4.25
MgO	2.90	3.13	2.75	2.82	3.05	Eu	0.96	1.08	1.00	1.14	1.05
CaO	4.37	4.91	5.32	5.05	5.34	Gd	3.67	4.55	3.77	4.08	3.85
Na ₂ O	3.08	3.48	3.30	3.43	3.37	Tb	0.57	0.72	0.60	0.63	0.59
K ₂ O	3.08	1.96	2.42	2.15	2.19	Dy	3.24	4.03	3.46	3.50	3.27
P ₂ O ₅	0.16	0.16	0.16	0.17	0.18	Ho	0.64	0.80	0.66	0.66	0.61
灼失	0.95	1.52	1.58	1.09	1.40	Er	1.84	2.23	1.88	1.92	1.70
总量	100.34	100.91	100.49	100.70	100.64	Tm	0.30	0.36	0.29	0.30	0.27
Rb	26.0	34.3	20.3	62.8	20.5	Yb	1.98	2.40	2.01	2.11	1.82
Ba	448.0	336.0	454.0	436.0	465.0	Lu	0.31	0.39	0.32	0.33	0.29
Th	12.00	13.80	9.62	11.10	9.94	Y	16.8	21.0	16.7	18.2	16.1
U	1.29	2.00	1.73	2.76	1.38	ΣREE	109.90	134.03	109.40	136.94	110.84
Ta	0.82	0.99	0.76	1.02	0.76	(La/Yb) _N	7.57	7.35	7.14	9.35	7.96
Nb	10.6	10.9	10.0	10.6	9.96	δEu	0.73	0.67	0.75	0.78	0.78
Sr	284	391	294	423	343	δCe	0.98	1.01	0.98	0.99	1.01

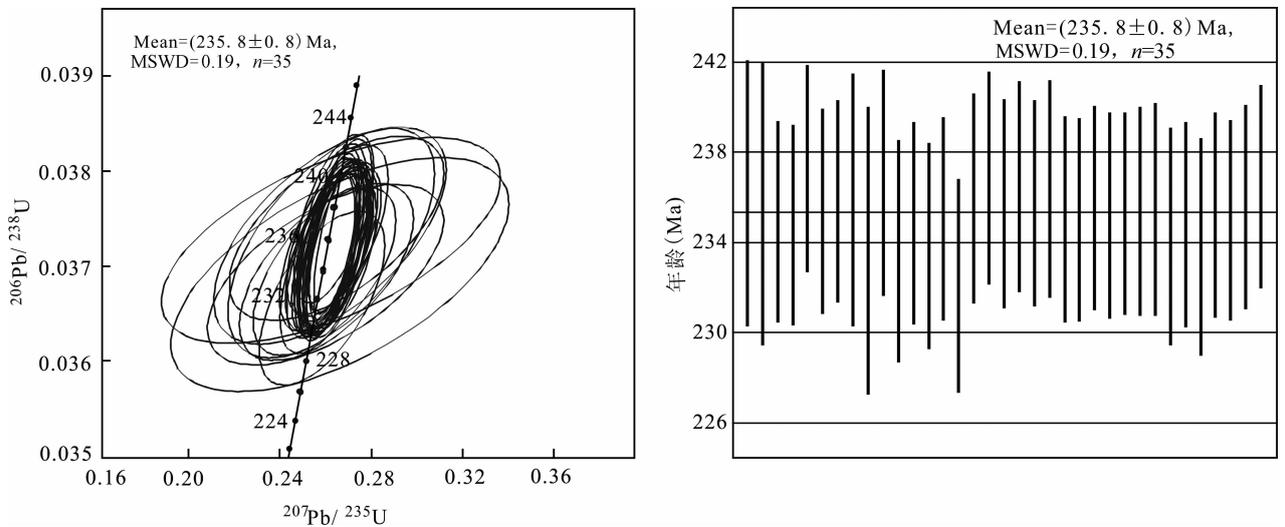


图 5 瑙木浑金矿石英闪长岩锆石 U-Pb 年龄谐和图和加权平均年龄

Fig. 5 Zircon U-Pb concordia diagram(a) and weighted mean ages diagram from Naomuhun quartz diorite

土元素和 Pb, 相对亏损高场强元素(Nb、Ta、P、Ti), Ba、Nb、Sr 的亏损较明显, 显示具有岛弧环境的特点。Mg[#] 范围为 50.32~53.59, Rapp et al. (1995) 认为下地壳岩石部分熔融形成的熔体其 Mg[#] 小于 45, 说明石英闪长岩不全为纯下地壳熔融; Rb/Sr 比值(0.06~0.148)介于上地幔值(0.034)(Taylor et al., 1995)和地壳值(0.35)(Rudnick et al., 1995)之间, Nb/Ta 比值(10.39~13.66)介于地壳平均值 12.5~13.5 与地幔平均值 17.5 之间。以上特征均说明瑙木浑金矿石英闪长岩具有壳幔混合成因特

点。这与东昆仑地区印支期在哈日扎金银多金属石英闪长岩(Guo Xianzheng et al., 2016b)、哈西亚图金矿石英闪长岩(Namkha Norbu et al., 2014)和阿斯哈石英闪长岩(Li Jinchao et al., 2014)等研究结果一致, 同时也印证了前人(Liu Chengdeng et al., 2004)“东昆仑花岗岩带在三叠纪经历了壳幔岩浆混合作用”的观点。

5.2 构造背景

岩石显示明显的 Ta-Nb-Ti 负异常和低的 Nb/Ta 值表明其不可能直接由软流圈部分熔融产生

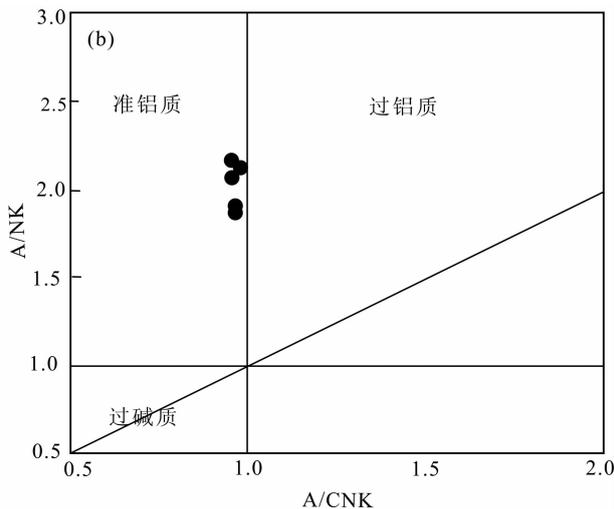
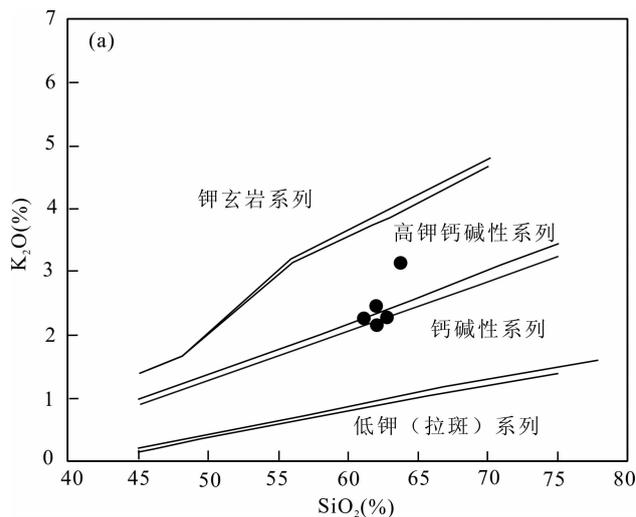


图 6 瑙木浑石英闪长岩的 K₂O-SiO₂图解(a)及 A/CNK-A/NK 图解(b)

Fig. 6 K₂O-SiO₂ (a) and A/CNK-A/NK (b) plots for Naomuhun quartz diorite

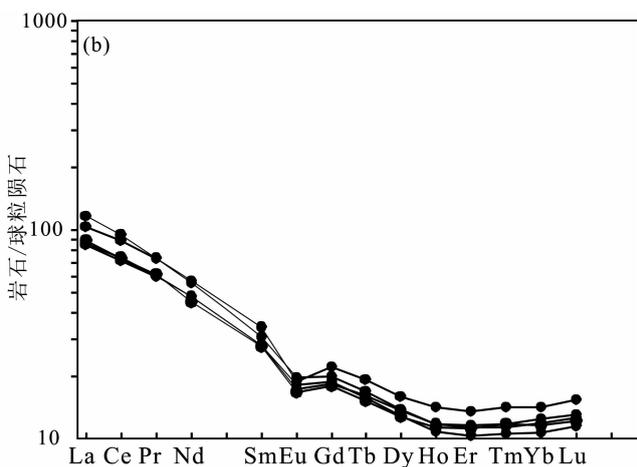
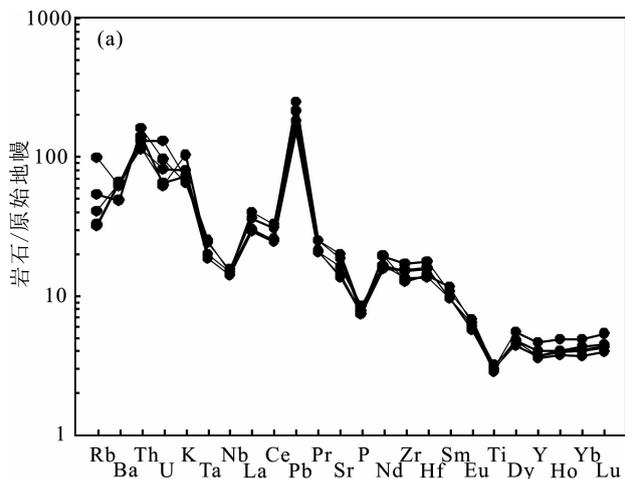


图 7 瑙木浑金矿石英闪长岩的微量元素原始地幔标准化蛛网图(a)及稀土元素球粒陨石标准化配分曲线图(b) (标准化数值据 Sun et al., 1989)

Fig. 7 Primitive mantle-normalized trace element patterns (a) and chondrite-normalized REE patterns (b) for Naomuhun quartz diorite (primitive-mantle data from Sun et al., 1989)

(Sun et al., 1989),其源区或者受到俯冲组分的影响,McKenzie(1989)则指出岩浆受到地壳物质的混染,或者岩浆源区残留有富 Ta、Nb、Ti 的矿物(如金红石、钛铁矿等)也可造成“TNT”的亏损。在 Al₂O₃+MgO+FeO^T图解中(图 8a),样品均落在岛弧及活动大陆边缘; Rb-Yb+Nb 和 Ta-Yb 判别图解中,均落在火山弧区域内(图 8b、d);在 Nb-Y 图解中,5 件样品均落在火山弧及同碰撞花岗岩区域(图 8c);总体可以看出瑙木浑金矿石英闪长岩具有安第斯型活动大陆边缘火成岩的构造属性。花岗岩类岩石类型的多样性反映岩浆源区性质和岩浆演化的综合结果,简单地运用微量元素构造图解判别构造环境具有多解性,故结合当时的大地构造演化及地质

年代制约是必要的。在 260~230Ma 之间东昆仑地区正在经历洋壳大规模俯冲,俯冲板片发生断离,由底侵作用产生的大量热量引起软流圈物质上涌,幔源物质不断加热使得下地壳发生部分熔融,形成混合岩浆,后经侵位、结晶分异,在 235.8Ma 期间形成瑙木浑金矿石英闪长岩体。

6 成岩成矿时代意义

印支期是东昆仑地区岩浆活动最为强烈的时期,中三叠世阿尼玛卿洋闭合对该区影响广泛,形成了一系列与蚀变岩型、矽卡岩型、斑岩型等矿床成矿有重要关系的中酸性岩体。例如蚀变岩型金矿床有:阿斯哈金矿获得石英闪长岩锆石 U-Pb 年龄年

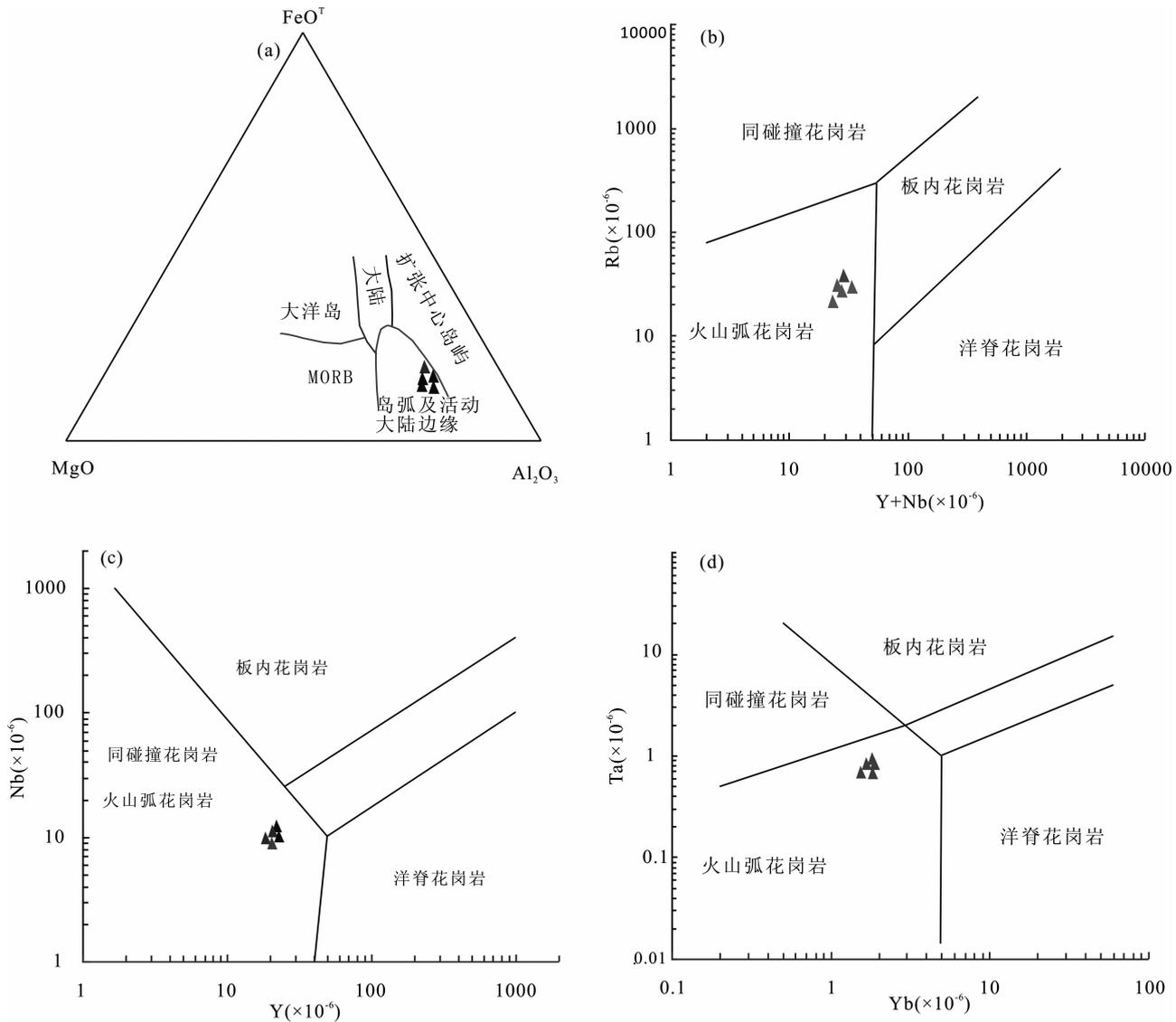


图 8 瑙木浑金矿石英闪长岩构造判别图

Fig. 8 Tectonic discrimination diagram for Naomuhun quartz diorite

龄为 $238.4 \pm 2 \text{ Ma}$ (Li Jinchao et al., 2014)、花岗斑岩锆石 U-Pb 年龄为 $232.6 \pm 1.4 \text{ Ma}$ (Yue Weihao, 2013)、大水沟金矿石英闪长岩锆石 U-Pb 年龄为 $239.5 \pm 0.9 \text{ Ma}$ (Li Jinchao et al., 2015a)、哈西亚图金多金属矿获得石英闪长岩的锆石 U-Pb 年龄为 $246.8 \pm 1.8 \text{ Ma}$ (Namkha Norbu et al., 2014)、五龙沟金矿获得花岗闪长岩的年龄为 $243 \pm 2 \text{ Ma}$ (Li Yazhi, unpublished)、西藏大沟金矿花岗斑岩锆石 U-Pb 年龄 $225.0 \pm 1.2 \text{ Ma}$ (Li Jinchao, 未发表) 等。同时东昆仑地区获得众多金矿成矿年龄, 例如在五龙沟金矿 III-1 矿体糜棱岩矿石白云母 ^{40}Ar - ^{39}Ar 为 $236.5 \pm 0.5 \text{ Ma}$ (Feng Chengyou, 2002)、III-2 矿体锆石裂变径迹为 $235.0 \pm 8.9 \text{ Ma}$ (Feng Chengyou, 2002)、NW 向韧性剪切带中金矿点中的黑云母

^{40}Ar - ^{39}Ar 为 $242.72 \pm 1.69 \text{ Ma}$ (Kou Linlin et al., 2010)、果洛龙洼金矿 AS06 金矿石白云母 ^{40}Ar - ^{39}Ar 为 $202.7 \pm 1.34 \text{ Ma}$ (Xiao Ye et al., 2014)。

阿尼玛卿洋盆向北俯冲过程中存在有利于深源岩浆上升的通道, 幔源流体萃取上地幔源区金等成矿物质, 含金的幔源流体沿断裂向地壳运移, 并在构造适合部位沉淀形成金矿。同时, 本次在瑙木浑金矿金矿石中获得蚀变绢云母 ^{40}Ar - ^{39}Ar 坪年龄为 $227.84 \pm 1.13 \text{ Ma}$ 。代表金矿的成矿年龄, 与石英闪长岩年龄值较为接近 (滞后 $8 \text{ Ma} \pm$)。瑙木浑金矿石英闪长岩与金矿化存在密切的时空及成因联系, 岩体 (或同源岩浆) 为成矿提供了热动力, 可能也提供了部分矿质。同时结合前述的五龙沟金矿床、果洛龙洼金矿床获得成矿年龄认为, 印支期为东昆仑

地区金矿主要成矿期。

7 结论

(1) 岩石地球化学研究表明, 璵木浑金矿石英闪长岩为高钾钙碱性系列岩石。地球化学数据表明其具有安第斯型活动大陆边缘火成岩的构造属性, 形成环境为大洋俯冲环境。

(2) 本次在璵木浑金矿矿石中获得蚀变绢云母⁴⁰Ar-³⁹Ar坪年龄为 227.84 ± 1.13 Ma, 代表金矿的成矿年龄。与石英闪长岩锆石U-Pb年龄为 235.8 ± 0.8 Ma较为接近(滞后8Ma±)。璵木浑金矿石英闪长岩与金矿化存在密切的时空及成因联系, 岩体(或同源岩浆)为成矿提供了热动力, 可能也提供了部分矿源。

(3) 结合前人已获得东昆仑地区金矿床的成矿年龄认为, 印支期是东昆仑地区金矿的主要成矿期。

致谢: Ar-Ar年代学测试、锆石U-Pb测试、岩石地球化学测试分别得到核工业北京地质研究院实验测试研究中心、天津地质调查中心测试中心、西安地质调查中心测试中心等相关人员的帮助与支持, 审稿专家为完善本文提出了宝贵的意见, 在此表示诚挚的感谢。

注 释

- ① 青海省金星矿业有限公司. 2015. 青海省都兰县璵木浑沟口金矿预查报告.
- ② 吉林大学(孙丰月等). 2000. 新疆—青海东昆仑成矿带成矿规律和找矿方向综合研究报告.

References

- Ding Qingfeng, Wang Guan, Sun Fengyue, Zhang Benlong, Jin Shengkai. 2010. Ore-forming fluid evolution of Dachang gold deposit in Qumalai County, Qinghai Province: Evidence from fluid inclusion study and arsenopyrite geothermometer. *Acta Petrologica Sinica*, 26(12): 3709~3719 (in Chinese with English abstract).
- Ding Q F, Jiang S Y, Sun F Y, et al. 2013a. Origin of the Dachang gold deposit, NW China: constraints from H, O, S, and Pb isotope data. *International Geology Review*, 55(15): 1885~1901.
- Ding Qingfeng, Jin Shengkai, Wang Guan, Zhang Benlong. 2013b. Ore-forming fluid of the Guoluolongwa gold deposit in Dulan County, Qinghai Province. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 43(2): 415~426 (in Chinese with English abstract).
- Du Yuliang, Jia Qunzi, Han Shengfu. 2012. Mesozoic-tectonomineralization and copper-gold polymetallic ore prospecting research in East Kunlun metallogenic belt in Qinghai. *Northwestern Geology*, 45(4): 69~75 (in Chinese with English abstract).
- Feng Chengyou. 2002. Multiple orogenic processes and mineralization of orogenic gold deposits in the East Kunlun orogen, Qinghai Province. Beijing, Phd thesis of Institute of Mineral Resources, CAGS, 5~14 (in Chinese with English abstract).
- Feng Chengyou, Zhang Dequan, Wang Fuchun, She Hongquan, Li Daxin, Wang Yan. 2004. Multiple orogenic process and geological characteristics of the major orogenic process and deposits. *Acta Geoscientia Sinica*, 25(4): 415~422 (in Chinese with English abstract).
- Feng Chengyou, Zhang Dequan, Li Daxin, She Hongquan. 2013. Sulfur and lead isotope geochemistry of the orogenic gold deposits in East Kunlun area, Qinghai Province. *Acta Geoscientia Sinica*, 24(6): 593~598 (in Chinese with English abstract).
- Gao Yongwei, Zhang Zhenliang, Wang Zhihua, Yang Weizhong, Ban Jianyong, Dong Fuchen, Tan Wenjuan. 2015. Geochronology of the Katabaasu gold deposit in West Tian Shan and its geological significance: Evidence from ⁴⁰Ar-³⁹Ar isotopic ages of sericite. *Geology and Exploration*, 51(5): 805~815 (in Chinese with English abstract).
- Guo Xianzheng, Jia Qunzi, Zheng Youye, Li Jinchao, Li Yazhi, Kong Huilei. 2016a. Re-Os isotopic dating molybdenite from Reshui molybdenum polymetallic deposit in the East Kunlun and its geological significance. *Acta Geoscientia Sinica*, 90(10): 2818~2829 (in Chinese with English abstract).
- Guo Xianzheng, Jia Qunzi, Kong Huilei, Li Yazhi, Li Jinchao, Ma Zhongyuan, Wang Yu. 2016b. Zircon U-Pb geochronology and geochemistry of Harizha quartz diorite in the Eastern section from East Kunlun. *Geological Science and Technology Information*, 36(5): 19~26 (in Chinese with English abstract).
- Guo Zhengfu, Deng Jinfu, Xu Zhiqin, Mo Xuanxue, Luo Zhaohua. 1998. The intermediate-silic magmatic rocks and orogenic process from late paleozoic to mesozoic in Eastern Kunlun, Tibet. *Geosciences*, 12(3): 344~352 (in Chinese with English abstract).
- Hu Rongguo, Lai Jianqing, Zhang Shaoning, Dou Hongwei, Shi Genhong, Yang Baorong. 2010. Geological and geochemical characteristics of the Guoluolongwa gold deposit, Dulan county, Qinghai Province. *Geology and Exploration*, 46(5): 931~941 (in Chinese with English abstract).
- Kou Linlin, Luo Mingfei, Zhang Kanghui, Zhao Chaoxin. 2010. ⁴⁰Ar/³⁹Ar dating of the gold-bearing shear zone on the gold-ore collected belt of the Wulonggou, Qinghai, and its significance. *Xinjiang Geology*, 28(3): 330~333 (in Chinese with English abstract).
- Li Bile, Sun Fengyue, Yu Xiaofei, Qian Ye, Wang Guan, Yang Yanqian. 2012a. U-Pb dating and geochemistry of diorite in the eastern section of from Eastern Kunlun middle uplifted

- basement and granitic belt. *Acta Petrologica Sinica*, 28(4): 1163~1172 (in Chinese with English abstract).
- Li Bile, Shen Xin, Chen Guangjun, Yang Yanqian, Li Yongsheng. 2012b. Geochemical features of ore-forming fluids and metallogenesis of vein I in Asiha gold ore deposits, Eastern Kunlun, Qinghai Province. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 42(6):1676~1687 (in Chinese with English abstract).
- Li Jinchao, Jia Qunzi, Kong Huilei, Li Yazhi, Yang Baorong. 2014. Geochemical characteristics of Asiha quartz diorite in east segment of the Eastern Kunlun and their geological implications. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 44(4): 1188~1199 (in Chinese with English abstract).
- Li Jinchao, Du Wei, Kong Huilei, Lei Yanjun, Jia Qunzi, Li Yazhi, Namkha Norbu. 2015a. Zircon U-Pb dating and geochemical characteristics of the quartz diorite in the Dashuigou gold deposit of Eastern Kunlun Mountains, Qinghai Province. *Geology in China*, 42(3): 509~520 (in Chinese with English abstract).
- Li Jinchao, Du Wei, Cheng Yongsheng, Kong Huilei, Liu Jianxin, Li Yazhi, Jia Qunzi, Namkha Norbu, Xia Mingzhe, Li Yanjun. 2015b. The key ore-controlling factors and characteristics of the main gold deposits in the East Kunlun Belt, Qinghai Province. *Geology and Exploration*, 51(6):1079~1088 (in Chinese with English abstract).
- Liu Chengdong, Mo Xuanxue, Luo Zhaohua. 2004. Mixing events between the crust and mantle-derived magmas in Eastern Kunlun: Evidence from Zircon SHIMP chronology. *Chinese Science Bulletin*, 49(6):596~602 (in Chinese with English abstract).
- Liu Jiannan, Feng Chengyou, Xiao Keyan, He Shuyao, Li Daxin, Zhao Yiming. 2016. Mineralization characteristics and resource potential analysis of the East Kunlun metallogenic belt. *Acta Geological Sinica*, 90(7):1364~1376 (in Chinese with English abstract).
- Liu Zhiwei, Zhao Wenjun, Wu Zhenhan, Shi Dalian. 2016. Ancient oceanic crustal subduction of the East Kunlun orogenic belt: evidence from deep-reflection seismic data. *Acta Geoscientia Sinica*, 90(8):1692~1702 (in Chinese with English abstract).
- Mckenzie D P. 1989. Some remarks on the movement of small melt fractions in the mantle. *Earth and Planetary Science Letters*, 95: 53~72.
- Mo Xuanxue, Luo Zhaohua, Deng Jinfu, Yu Xuehui, Liu Chengdong, Chen Hongwei, Yuan Wanming, Liu Yunhua. 2007. Granitoids and crustal growth in the East-Kunlun orogenic belt. *Geological Journal of China Universities*, 13(3): 403~414 (in Chinese with English abstract).
- Meng Yuanku, Xu Zhiqin, Ma Shiwei, Yang Feifei. 2016. The $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ Geochronological constraints on the Xiatongmoin-Quxu ductile shear zone in the Gangdese batholith, Southern Xizang (Tibet). *Geological Review*, 62(4): 795~806 (in Chinese with English abstract).
- Namkha Norbu, Jia Qunzi, Li Wenyuan, Guo Zhouping, Li Jinchao, Kong Huilei, Li Yazhi, Dai Yan. 2014a. LA-ICP-MS zircon U-Pb age and geochemical characteristics of quartz diorite from the Haxiyatu iron-polymetallic ore district in Eastern Kunlun. *Geological Bulletin of China*, 33(6):841~849 (in Chinese with English abstract).
- Namkha Norbu, Jia Qunzi, Li Wenyuan, Tang Ling, Kong Huilei, Li Jinchao, Li Yazhi. 2014b. A comparative study on isotopic geochronology and tectonic-magmatic hydrothermal events of igneous rock in Qinghai Province. *Northwestern Geology*, 47(2):51~61 (in Chinese with English abstract).
- Pearce J A. 1996. Source and settings of granitic rocks. *Episodes*, 19: 120~125.
- Rapp R P, Waston E B. 1995. Dehydration melting of metabasalt at 8~32 kbar: Implications for continental growth and crust-mantle recycling. *Journal of Petrology*, 36:891~931.
- Rudnick L R, Fountain M D. 1995. Nature and composition of the continental crust: A lower crustal perspective. *Reviews of Geophysics*, 33: 267~309.
- Shen Ping, Shen Yuanchao, Zeng Qingdong, Liu Tiebing, Li Guangming. 2005. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ age and geological significance of the Sawur gold belt in northern Xinjiang, China. *Acta Geological Sinica*, 79(2):275~285.
- Sun S S, McDonough W F. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalt: Implications for mantle composition and process. In: Saunders A D, Norry M J, eds. *Magmatism in the Ocean Basins*. *Sp. Publ. Geol. Soc. Lond.*, 42: 313~345.
- Taylor S R, McLennan S M. 1995. The Geochemical evolution of the continental crust. *Reviews of Geophysics*, 33(2): 241~165.
- Xiao Ye, Feng Chengyou, Li Daxin, Liu Jiannan. 2014. Chronology and fluid inclusions of the Guoluolongwa gold deposit in Qinghai Province. *Acta Geological Sinica*, 88(5):895~902 (in Chinese with English abstract).
- Yan Shenghao, Yang Jianmin, Wang Denghao, Chen Yuchuan, Xu Wang. 2002. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of the Daduhe gold ore field in Kangding, Sichuan—new evidence of the Himalayan mineralization and its implications. *Acta Geological Sinica*, 76(3): 384~388 (in Chinese with English abstract).
- Yuan Wanming, Wang Shicheng, Wang Lanfen. 2000. Metallogenic thermal history of the Wulonggou gold deposits in East Kunlun Mountains in the light of fission track thermochronology. *Acta Geoscientia Sinica*, 21(4):389~395 (in Chinese with English abstract).
- Yue Weihao. 2013. Mineral deposits geochemistry and metallogenic mechanism in Gouli gold deposit, East Kunlun. Master thesis of Kunming University of Science and Technology (in Chinese with English abstract).
- Zhang Dequan, Dang Xingyan, She Hongquan, Li Daxin, Feng Chengyou, Li Jinwen. 2005. Ar-Ar dating of orogenic gold

deposits in northern margin of Qaidam and East Kunlun Mountains and its geological significance. *Mineral Deposits*, 27(4):87~98 (in Chinese with English abstract).

Zhang Wei, Liu Ming, Ma Zhaojian, Kong Chao. 2014. Geological characteristics and prospecting direction of Naomuhun Goukou gold deposit in Dulan Country of Qinghai Province. *Shandong Land Resources*, 30(2):7~10 (in Chinese with English abstract).

参 考 文 献

丁清峰,王冠,孙丰月,张本龙,金圣凯. 2010. 青海省曲麻莱县大场金矿床成矿流体演化:来自流体包裹体研究和毒砂地温计的证据. *岩石学报*, 26(2):3710~3719.

丁清峰,金圣凯,王冠,张本龙. 2013b. 青海省都兰县果洛洼金矿成矿流体. *吉林大学学报(地球科学版)*, 43(2):415~426.

杜玉良,贾群子,韩生福. 2012. 青海东昆仑成矿带中生代构造—岩浆—成矿作用及铜金多金属找矿研究. *西北地质*, 45(4):69~75.

丰成友. 2002. 青海省东昆仑地区复合造山带造山过程与造山型金矿床成矿作用. 北京:中国地质科学院矿产资源研究所博士学位论文.

丰成友,张德全,王富春,余宏全,李大新,王彦. 2004. 青海东昆仑复合造山过程及典型造山型金矿地质特征. *地球学报*, 25(4):415~422.

丰成友,张德全,李大新,余宏全. 2013. 青海东昆仑造山型金矿硫、铅同位素地球化学. *地球学报*, 24(6):593~598.

高永伟,张振亮,王志华,杨维忠,班建永,董福辰,谭文娟. 2015. 西天山卡特巴阿苏金矿床成矿年代学及其地质意义——来自锆母⁴⁰Ar-³⁹Ar同位素年龄证据. *地质与勘探*, 51(5):805~815.

国显正,贾群子,郑有业,李金超,栗亚芝,孔会磊. 2016a. 东昆仑热水钼多金属矿床辉钼矿 Re-Os 同位素年龄及地质意义. *地质学报*, 90(10):2818~2829.

国显正,贾群子,孔会磊,栗亚芝,李金超,马忠元,王宇. 2016b. 东昆仑东段哈日扎石英闪长岩时代、成因及其地质意义. *地质科技情报*, 36(5):19~26.

郭正府,邓晋福,许志琴,莫宣学,罗照华. 1998. 青藏东昆仑晚古生代末—中生代中酸性火成岩与陆内造山过程. *现代地质*, 12(3):344~352.

胡荣国,赖健清,张绍宁,窦洪伟,施根红,杨宝荣. 2010. 青海省都兰县果洛洼金矿床地质地球化学特征. *地质与勘探*, 46(5):931~941.

寇林林,罗明非,钟康惠,赵昌新. 2010. 青海五龙沟金矿集区 I 号韧性剪切带⁴⁰Ar/³⁹Ar 年龄及地质意义. *新疆地质*, 28(3):330~333.

李碧乐,孙丰月,于晓飞,钱烨,王冠,杨延乾. 2012a. 东昆仑隆起带东段闪长岩 U-Pb 年代学和岩石地球化学研究. *岩石学报*, 28

(4):1163~1172.

李碧乐,沈鑫,陈广俊,杨延乾,李永胜. 2012b. 青海东昆仑阿斯哈金矿 I 号脉成矿流体地球化学特征和矿床成因. *吉林大学学报(地球科学版)*, 42(6):1676~1687.

李金超,贾群子,孔会磊,栗亚芝,杨宝荣. 2014. 东昆仑东段阿斯哈矿床石英闪长岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年及其地质意义. *吉林大学学报(地球科学版)*, 44(4):1188~1199.

李金超,杜玮,孔会磊,雷延军,贾群子,栗亚芝,南卡俄吾. 2015a. 青海省东昆仑大水沟金矿英云闪长岩锆石 U-Pb 测年、岩石地球化学及其找矿意义. *中国地质*, 42(3):509~520.

李金超,杜玮,成永生,孔会磊,柳建新,栗亚芝,贾群子,南卡俄吾,夏明哲,李艳军. 2015b. 青海省东昆仑成矿带主要金矿床特征及关键控矿因素分析. *地质与勘探*, 51(6):1079~1088.

刘成东,莫选学,罗照华. 2004. 东昆仑壳—幔岩浆混合作用:来自锆石 SHRIMP 年代学的证据. *科学通报*, 49(6):596~602.

刘建楠,丰成友,肖克炎,何书跃,李大新,赵一鸣. 2016. 东昆仑成矿带成矿特征与资源潜力分析. *地质学报*, 90(7):1364~1376.

刘志伟,赵文津,吴珍汉,史大年. 2016. 东昆仑造山带中地壳存在古洋壳俯冲的深反射地震证据. *地质学报*, 90(8):1692~1702.

孟元库,许志琴,马士委,杨斐斐. 2016. 藏南冈底斯地体谢通门一曲水韧性剪切带⁴⁰Ar/³⁹Ar 年代学约束. *地质论评*, 62(4):795~806.

莫宣学,罗照华,邓晋福,喻学惠,刘成东,谌宏伟,袁万明,刘云华. 2007. 东昆仑造山带花岗岩及地壳生长. *高校地质学报*, 13(3):403~414.

南卡俄吾,贾群子,李文渊,郭周平,李金超,孔会磊,栗亚芝,代岩. 2014a. 青海东昆仑哈西亚图铁多金属矿区石英闪长岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄和岩石地球化学特征. *地质通报*, 33(6):841~849.

南卡俄吾,贾群子,李文渊,唐玲,孔会磊,李金超,栗亚芝. 2014b. 青海省火成岩同位素地质年代学与构造岩浆热事件对比研究. *西北地质*, 47(2):51~61.

肖晔,丰成友,李大新,刘建楠. 2014. 青海省果洛洼金矿区年代学研究及流体包裹体特征. *地质学报*, 88(5):895~902.

闰升好,杨建民,王登红,陈毓川,徐汪. 2002. 大渡河金矿田喜马拉雅期成矿的⁴⁰Ar/³⁹Ar 年龄依据及其意义. *地质学报*, 76(3):384~388.

袁万明,王世成,王兰芬. 2000. 东昆仑五龙沟金矿床成矿热历史的裂变径迹热年代学证据. *地球学报*, 21(4):389~395.

岳维好. 2013. 东昆仑东段沟里金矿集区典型矿床地质地球化学及成矿机理研究. 昆明:昆明理工大学硕士学位论文.

张德全,党兴彦,余宏全,李大新,丰成友,李进文. 2005. 柴北缘—东昆仑地区造山型金矿床的 Ar-Ar 测年及其地质意义. *矿床地质*, 27(4):87~98.

张伟,刘铭,马昭建,孔超. 2014. 青海省都兰县瑙木浑沟口金矿区地质特征及找矿方向. *山东国土资源*, 30(2):7~10.

Ar-Ar Age of Altered Sericite, Zircon U-Pb Age of Quartz Diorite and Geochemistry of the Naomuhun Gold Deposit, East Kunlun

LI Jinchao^{1,2)}, KONG Huilei²⁾, LI Yazhi²⁾, Namkha Norbu³⁾,

JIA Qunzi²⁾, GUO Xianzheng²⁾, ZHANG Bin²⁾

1) *School of Earth Science and Resources, Chang'an University, Xi'an, 710054;*

2) *Xi'an Center of China Geological Survey, Key Laboratory for the Study of Focused Magmatism and Giant Ore Deposits, MLR, Xi'an 710054;*

3) *Shaanxi Provincial Land Engineering Construction Group, Xi'an, 710075*

Abstract

East Kunlun is endowed with abundant gold resources and is nicknamed the “Gold Belt” in China. The Naomuhun gold deposit is just located in the metallogenic belt of Caledonian post-arc rifting in the north of East Kunlun. Geochemical studies indicate that quartz diorite which is spatially related to gold-bearing rock is of high-K calc-alkaline series and has the attribute of Andean type epicontinental igneous tectonics. ^{40}Ar - ^{39}Ar dating yields an average age of $227.84 \pm 1.13\text{Ma}$ for sericite. Zircon U-Pb dating yields an age of $235.8 \pm 0.8\text{Ma}$ for quartz diorite, suggesting that it formed due to northward subduction of the Animating ocean basin during the middle triassic period. Indosinian is the major gold metallogenic epoch of the East Kunlun area. Therefore, this study is of great importance to further understanding the formation of the Naomuhun gold deposit.

Key words: East Kunlun area; Naomuhun gold deposit; ^{40}Ar - ^{39}Ar age; zircon U-Pb age; Indosinian